

明 細 書

2005052683 24 MAY 2006

## 広帯域光サイドバンド生成方法、及び広帯域光サイドバンド生成装置

## 技術分野

- [0001] 本発明は、広帯域光サイドバンド生成方法、及び広帯域光サイドバンド生成装置に関する。

## 背景技術

- [0002] 光サイドバンドを生成するための手法としては、従来よりモードロックレーザ(MLL)を用いる方法と、外部位相変調器を用いる方法とが利用されてきた。MLLを用いる方法としては、非線形光ファイバーと併用して2オクターブに亘る帯域の光サイドバンドの生成が実証されているが、この方法で生成される光サイドバンド列の周波数間隔は数百MHz程度と狭く、光通信システムなどへは十分に応用することができなかった。また、前記光サイドバンド列の周波数間隔を電氣的に制御することも容易でなかった。さらに、MLLは一般に大きく高価であるために、産業基盤に適用可能な基本機器としては非常に扱い難いなどの問題点もあった。

- [0003] 一方、外部位相変調器を用いる方法では、光サイドバンド列の周波数間隔を十分に大きく、例えば10GHz以上とすることができ、かつコンパクトで広範囲の光源が利用できるという利点を有する。また、サイドバンド列の間隔を容易に電氣的に調製することができる。しかしながら、各サイドバンド成分の振幅はベッセル関数に従うため均一性に乏しく、ある特定次数のサイドバンド強度がゼロになる場合が生じる。

## 発明の開示

## 発明が解決しようとする課題

- [0004] 本発明は、十分に大きい周波数間隔を有し、かつそれぞれが均一な強度を有する光サイドバンド列を生成することを目的とする。

## 課題を解決するための手段

- [0005] 本発明は、  
所定の光源より電気光学位相変調器に光ビームを入力する工程と、  
前記電気光学位相変調器において、前記光ビームに対して位相変調を加え、光サ

イドバンド列を形成する工程と、

前記電気光学位相変調器において、前記光ビームの空間分布を考慮した所定の位相変調指数空間分布を設定し、前記光サイドバンド列の強度分布を一様とする工程と、

を具えることを特徴とする、広帯域光サイドバンド生成方法に関する。

[0006] また、本発明は、

所定の光源と、

前記光源より出射された光ビームに対して位相変調を加え、光サイドバンド列を形成するとともに、前記光ビームの空間分布を考慮した所定の位相変調指数空間分布を設定し、前記光サイドバンドの強度分布を一様とするための電気光学位相変調器と、

を具えることを特徴とする、広帯域光サイドバンド生成装置に関する。

[0007] 本発明によれば、光サイドバンド列を生成するに際し、外部位相変調器としての電気光学位相変調器を用いているので、前記光サイドバンド列の周波数間隔は前記位相変調器における位相変調周波数に応じて任意に制御することができる。したがって、前記位相変調周波数を例えば数GHzまで増大させれば、前記光サイドバンド列の周波数間隔を十分に増大させることができるようになる。

[0008] また、前記電気光学位相変調器においては、前記光サイドバンド列を生成するために使用する光ビームの空間分布を考慮して所定の位相変調指数の空間分布を設定し、位相変調で生成されるサイドバンドの不均一性を平均化するようにしているので、前記光サイドバンド列の強度分布を一様とすることができる。

[0009] したがって、本発明によれば、従来のMLLと非線形素子を用いる方法では困難であった、目的とする光サイドバンド列の周波数間隔を十分に増大させることができるとともに、従来の外部位相変調器を用いる方法では不可能であった、前記光サイドバンド列の強度分布の一様化を達成することができる。

[0010] 前記位相変調指数空間分布は、例えば位相変調に使用する変調波の周波数が十分に低く、前記電気光学位相変調器において、前記光サイドバンド列を生成させるために使用する光ビームと、前記変調波との速度非整合が問題とならない場合は、

前記位相変調器における電極形状を制御することによって実現する。具体的には、前記電極形状を前記位相変調指数空間分布の形状と合致するようにして形成する。

- [0011] なお、前記電極は、前記電気光学位相変調器を構成する電気光学結晶の、前記光ビームの進行方向と略平行な相対する一対の主面上に設けられている。
- [0012] 一方、位相変調に使用する周波数が、例えば数GHzまで増大し、前記電気光学位相変調器において前記光サイドバンド列を生成させるために使用する光ビームと、前記変調波との速度非整合が問題となる場合は、前記位相変調器において分極反転技術を施すことによって、前記光ビームと前記変調波との疑似的な速度整合を採るようになる。
- [0013] なお、前記分極反転技術は、前記位相変調器を構成する電気光学結晶に対して行う。前記電気光学結晶は、前記位相変調器を構成する主材料であって、その大部分を構成するものである。
- [0014] 前記電気光学位相変調器の後方において空間フーリエ変換手段を設け、前記電気光学位相変調器によって光ビーム断面内で様々な変調指数で変調され、各変調指数に応じた光サイドバンド列を含む光ビームを空間フーリエ変換により合算する。これによって、前記光サイドバンド列を有する前記光ビームの強度を常に一定とすることができる。
- [0015] なお、前記光ビーム出力を外部に取り出すためには、前記電気光学位相変調器の後方、又は前記空間フーリエ変換手段を設けた場合はその手段の後方に適宜に出力手段を設ける。

### 発明の効果

- [0016] 以上説明したように、本発明によれば、十分に大きい周波数間隔を有し、かつそれぞれが均一な強度を有する光サイドバンド列を生成することができる。

### 図面の簡単な説明

- [0017] [図1]本発明の広帯域光サイドバンド生成装置の一例を概略的に示す構成図である。
- [図2]本発明の広帯域光サイドバンド生成装置の他の例を概略的に示す構成図である。

[図3]図2に示す広帯域光サイドバンド生成装置の変形例を概略的に示す構成図である。

[図4]図2に示す広帯域光サイドバンド生成装置のさらに他の変形例を概略的に示す構成図である。

### 発明を実施するための最良の形態

[0018] 以下、本発明の詳細、並びにその他の特徴及び利点について、最良の形態に基づいて詳細に説明する。

[0019] 図1は、本発明の広帯域光サイドバンド生成装置の一例を概略的に示す構成図である。図1に示すサイドバンド生成装置10においては、レーザ光源11と、その後方において、電気光学位相変調器12及び光ビーム出力手段13とが順次に設けられている。また、電気光学位相変調器12には、高周波電源14が接続されている。

[0020] レーザ光源11より所定の空間分布 $A(x)$ を有する光ビームが出射され、電気光学位相変調器12内に導入されると、前記光ビームは高周波電源14からの変調波によって変調を受ける(変調波が重畳される)。このとき、前記光ビーム内には、低次のサイドバンドから高次のサイドバンドまでの複数のサイドバンド(サイドバンド列)が形成される。

[0021] 従来の方法では、位相変調指数がビーム全体に亘り一定であるため、その変調指数に対応したベッセル関数状の不均一な変調サイドバンドが生成され特定の次数のサイドバンドではその強度がほとんどゼロとなる場合があった。これに対して、本願発明では、電気光学位相変調器12内に位相変調指数の空間分布 $g(x)$ を形成し、異なる変調指数のサイドバンドが前記光ビームの空間分布 $A(x)$ の重み付けをもって合算しサイドバンド列の強度が一様になるにしている。その結果、均一な強度の光サイドバンド列が得られるようになる。

[0022] 位相変調指数の空間分布 $g(x)$ を考慮した場合、前記変調波の周波数を $f_m$ 及び時間を $t$ とすることによって、前記光ビームは $\phi(t, x) = g(x) \sin(2\pi f_m t)$ なる位相変調を受けることになる。したがって、前記光ビームの周波数を $f_0$ とすると、前記光ビームは、  
[数1]

$$A(x) \exp[j(2\pi f_0 t - g(x) \sin(2\pi f_m t))] = \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} A(x) J_n(g(x)) \exp[j(2\pi(f_0 - n f_m)t)]$$

で表され、結晶出力端の位置 $x$ において変調周波数毎に並んだサイドバンド列となる。このとき、各サイドバンドの振幅(強度)は、 $A(x)J_n(g(x))$ で表されるので、この式に基づいて各 $n$ 値に対応した各サイドバンドの振幅(強度)が一定となるように位相変調指数空間分布 $g(x)$ を決定する。

- [0023] 高周波電源14から印加される前記変調波の周波数が比較的小さく、前記光ビームとの速度非整合が問題とならないような場合は、電気光学位相変調器12内の電極形状を制御することによって、所望する位相変調指数空間分布 $g(x)$ を実現する。具体的には、前記電極の形状を位相変調指数空間分布 $g(x)$ と合致するようにして形成する。なお、前記電極は、前記電気光学位相変調器を構成する電気光学結晶の、前記光ビームの進行方向と略平行な相対する一対の主面上に設けられている。
- [0024] また、高周波電源14から印加される前記変調波の周波数が比較的高く、例えば数GHzのオーダーである場合は、電気光学位相変調器12を構成する電気光学結晶に分極反転技術を施し、一定の周期の下、ある幅 $W$ で前記電気光学結晶の結晶軸を反転させる。
- [0025] 具体的に、前記変調波の周波数を $f_m$ 、前記光ビームの群速度を $V_{gopt}$ 、変調波の位相速度を $V_{pmod}$ とすると、 $L=[2f_m(1/V_{gopt}-1/V_{pmod})]^{-1}$ なる半周期で分極反転させることが好ましい。このとき、前記光ビームが、例えばガウス分布に従うものであって、 $nm$ を前記電気光学結晶の電界印加による屈折率変化、 $\lambda$ を前記光ビームの波長、 $L$ を前記分極反転周期、及び $W(x)$ を位置 $x$ に依存する分極反転幅とすると、距離 $2L$ ごとの変調指数の空間分布 $g(x)=8nmL/\lambda \sin(\pi W(x)/(2L))$ となる。
- [0026] なお、電気光学位相変調器12内において、前記電気光学結晶は、前記位相変調器を構成する主材料であって、その大部分を構成するものである。
- [0027] 図2は、本発明の広帯域光サイドバンド生成装置の他の例を概略的に示す構成図である。図2に示すサイドバンド生成装置20は、電気光学位相変調器12の後方で空間フーリエ変換手段としての凸レンズ21を有し、さらにその後方でスリット22Aを有する回折板22及び追加の凸レンズ23を有している点で図1に示すサイドバンド生成装置10と異なり、その他の構成要素については同一である。したがって、レーザ光源11から出射された光ビームの位相変調も同一に行われ、所定の光サイドバンド列を得



ることができるようになる。なお、回折板22及び追加の凸レンズ23は、前記光ビーム出力に対する出力手段を構成する。

[0028] 電気光学位相変調器12の後方において空間フーリエ変換手段としての凸レンズ21を設け、電気光学位相変調器12によって光ビーム断面内で様々な変調指数で変調され、各変調指数に応じた光サイドバンド列を含む光ビームを空間フーリエ変換としての凸レンズ21により合算する。これによって、前記光サイドバンド列を有する前記光ビームの強度を常に一定とすることができる。

[0029] なお、回折板22は、スリット22Aが凸レンズ21の焦点fと合致するように配置し、前記光ビーム出力は凸レンズ21を通過した後、スリット22Aで絞り込まれ、再度追加の凸レンズ23を介して外部に出力される。

[0030] また、前記空間フーリエ変換手段としては、凸レンズ23に代えて凹面鏡を用いることもできる。

[0031] 図3は、図2に示す広帯域光サイドバンド生成装置の変形例を概略的に示す構成図である。図3に示す広帯域光サイドバンド生成装置30においては、図2に示す出力手段としての回折板22及び追加の凸レンズ23に代えて、光ファイバ31を設けている。光ファイバ31は、その入力端が空間フーリエ変換手段としての凸レンズ21の焦点距離fに合致するようにする。この場合は、得られた光サイドバンド列を含む光ビーム出力を凸レンズ21で空間フーリエ変換した後、光ファイバ31内に導入して外部に取り出す。

[0032] 図4は、図2に示す広帯域光サイドバンド生成装置のさらに他の変形例を概略的に示す構成図である。図4に示す広帯域光サイドバンド生成装置40においては、図2に示す出力手段としての回折板22及び追加の凸レンズ23に代えて、回折格子41を設けている。この場合は、得られた光サイドバンド列を含む光ビーム出力を凸レンズ21で空間フーリエ変換した後、回折格子41で回折し、外部に取り出す。

[0033] 以上、具体例を挙げながら発明の実施の形態に基づいて本発明を詳細に説明してきたが、本発明は上記内容に限定されるものではなく、本発明の範疇を逸脱しない限りにおいてあらゆる変形や変更が可能である。例えば、上記例においてはレーザー光源を用いているが、任意の光源を用いることができる。また、位相変調指数空間分

布 $g(x)$ を適宜に選択することにより、任意の分布形状の光ビームをも用いることができる。

- [0034] 例えば、本願発明では、サイドバンド列の強度分布が一様となるようにしたが、同様の考え方に従えば、必ずしも平坦なサイドバンド分布だけにとどまらず、あらゆる強度エンベロープを持つ光サイドバンド列が生成可能となる。

#### 産業上の利用可能性

- [0035] 本発明は、光エレクトロニクス、光情報処理、光通信、光計測、及び光記録などの分野において使用することができ、具体的には、光周波数シンセサイザ、光パルスシンセサイザ、光周波数コム発生器、超短パルス生成器、及び波長多重用光源などに適用することができる。

## 請求の範囲

- [1] 所定の光源より電気光学位相変調器に光ビームを入力する工程と、  
前記電気光学位相変調器において、前記光ビームに対して位相変調を加え、光サイドバンド列を形成する工程と、  
前記電気光学位相変調器において、前記光ビームの空間分布を考慮した所定の位相変調指数空間分布を設定し、前記光サイドバンド列の強度分布を一様とする工程と、  
を具えることを特徴とする、広帯域光サイドバンド生成方法。
- [2] 前記位相変調指数空間分布は、前記電気光学位相変調器における電極形状を制御することによって形成することを特徴とする、請求項1に記載の広帯域光サイドバンド生成方法。
- [3] 前記位相変調指数空間分布は、前記電気光学位相変調器において分極反転技術を施すことによって形成することを特徴とする、請求項1に記載の広帯域光サイドバンド生成方法。
- [4] 前記分極反転技術は、前記電気光学位相変調器における電気光学結晶の結晶軸を $L=[2f_m(1/V_{gopt}-1/V_{pmod})]^{-1}$  ( $f_m$ :変調周波数、 $V_{gopt}$ :光ビームの群速度、 $V_{pmod}$ :変調波の位相速度)なる周期で反転させることによって実施することを特徴とする、請求項3に記載の広帯域光サイドバンド生成方法。
- [5] 前記位相変調指数空間分布は、 $g(x)=8nmL/\lambda \sin(\pi W(x)/(2L))$  ( $nm$ :電気光学結晶の位相変調に基づく屈折率変化、 $\lambda$ :光ビームの波長、 $L$ :分極反転周期、 $W(x)$ :分極反転幅)なる式で表されることを特徴とする、請求項4に記載の広帯域光サイドバンド生成方法。
- [6] 前記光サイドバンド列を含む光ビーム出力を、前記電気光学位相変調器を出射した後に、空間フーリエ変換する工程を具えることを特徴とする、請求項1～5のいずれかに記載の広帯域光サイドバンド生成方法。
- [7] 前記空間フーリエ変換は凸レンズを用いて行うことを特徴とする、請求項6に記載の広帯域光サイドバンド生成方法。
- [8] 前記空間フーリエ変換は凹面鏡を用いて行うことを特徴とする、請求項6に記載の

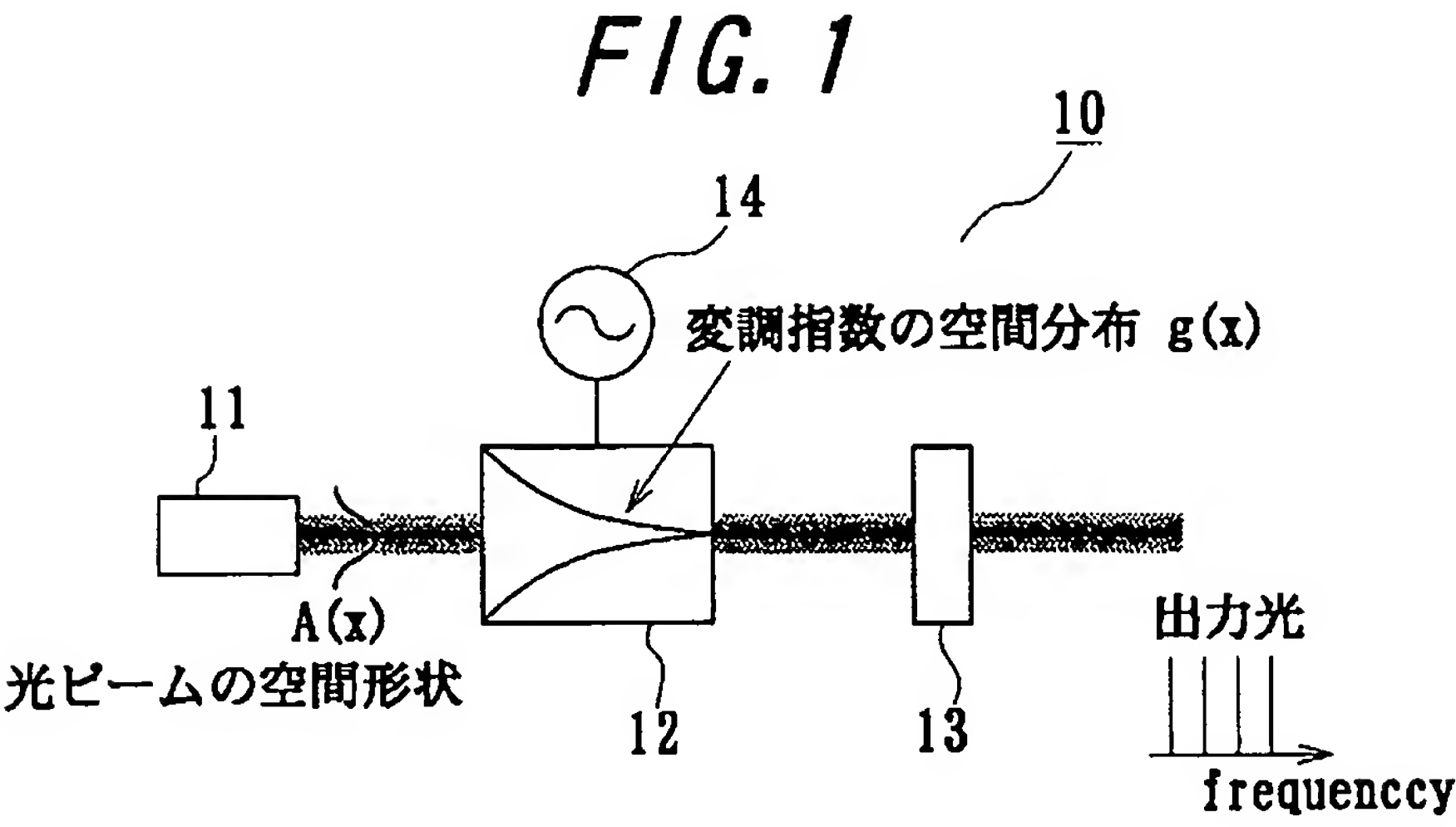


広帯域光サイドバンド生成方法。

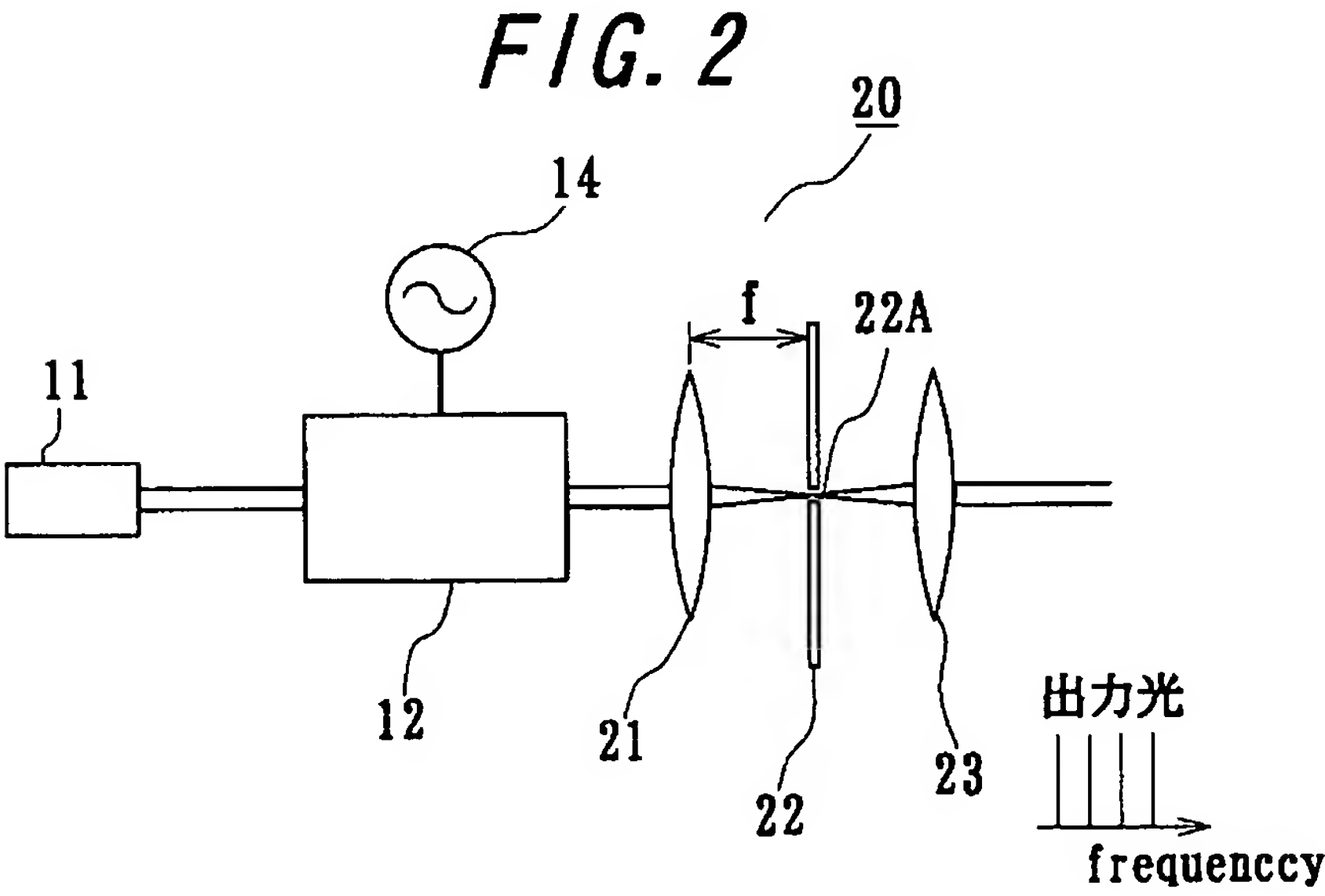
- [9] 所定の光源と、  
前記光源より出射された光ビームに対して位相変調を加え、光サイドバンド列を形成するとともに、前記光ビームの空間分布を考慮した所定の位相変調指数空間分布を設定し、前記光サイドバンド列の強度分布を一様とするための電気光学位相変調器と、  
を具えることを特徴とする、広帯域光サイドバンド生成装置。
- [10] 前記電気光学位相変調器は、前記位相変調指数空間分布を生成するために所定の形状に制御された電極を有することを特徴とする、請求項9に記載の広帯域光サイドバンド生成装置。
- [11] 前記電気光学位相変調器は、前記位相変調指数空間分布を生成するための分極反転技術が施されたことを特徴とする、請求項10に記載の広帯域光サイドバンド生成装置。
- [12] 前記分極反転技術は、前記電気光学位相変調器における電気光学結晶の結晶軸を $L = [2f_m(1/V_{gopt} - 1/V_{pmod})]^{-1}$  ( $f_m$ : 変調周波数、 $V_{gopt}$ : 光ビームの群速度、 $V_{pmod}$ : 変調波の位相速度) なる周期で反転させたことを特徴とする、請求項11に記載の広帯域光サイドバンド生成装置。
- [13] 前記位相変調指数空間分布は、 $g(x) = 8nmL / \lambda \sin(\pi W(x) / (2L))$  ( $nm$ : 電気光学結晶の位相変調に基づく屈折率変化、 $\lambda$ : 光ビームの波長、 $L$ : 分極反転周期、 $W(x)$ : 分極反転幅) なる式で表されることを特徴とする、請求項12に記載の広帯域光サイドバンド生成装置。
- [14] 前記光サイドバンド列を含む光ビーム出力を、前記電気光学位相変調器を出射した後に、空間フーリエ変換するための空間フーリエ変換手段を具えることを特徴とする、請求項9～13のいずれかに記載の広帯域光サイドバンド生成装置。
- [15] 前記空間フーリエ変換手段は凸レンズを含むことを特徴とする、請求項14に記載の広帯域光サイドバンド生成装置。
- [16] 前記空間フーリエ変換手段は凹面鏡を含むことを特徴とする、請求項14に記載の広帯域光サイドバンド生成装置。

- [17] 前記光サイドバンド列を含む光ビーム出力を出力させるための光ビーム出力手段を具えることを特徴とする、請求項9～16のいずれかーに記載の広帯域光サイドバンド生成装置。
- [18] 前記光ビーム出力手段は回折格子を含むことを特徴とする、請求項17に記載の広帯域光サイドバンド生成装置。
- [19] 前記光サイドバンド列を含む光ビーム出力を出力させるための光ビーム出力手段を具え、前記光ビーム出力手段は、前記凸レンズの焦点位置にスリットが配置された回折板と追加の凸レンズとから構成されたことを特徴とする、請求項15に記載の広帯域光サイドバンド生成装置。
- [20] 前記光サイドバンド列を含む光ビーム出力を出力させるための光ビーム出力手段を具え、前記光ビーム出力手段は、光ファイバから構成されたことを特徴とする、請求項15に記載の広帯域光サイドバンド生成装置。

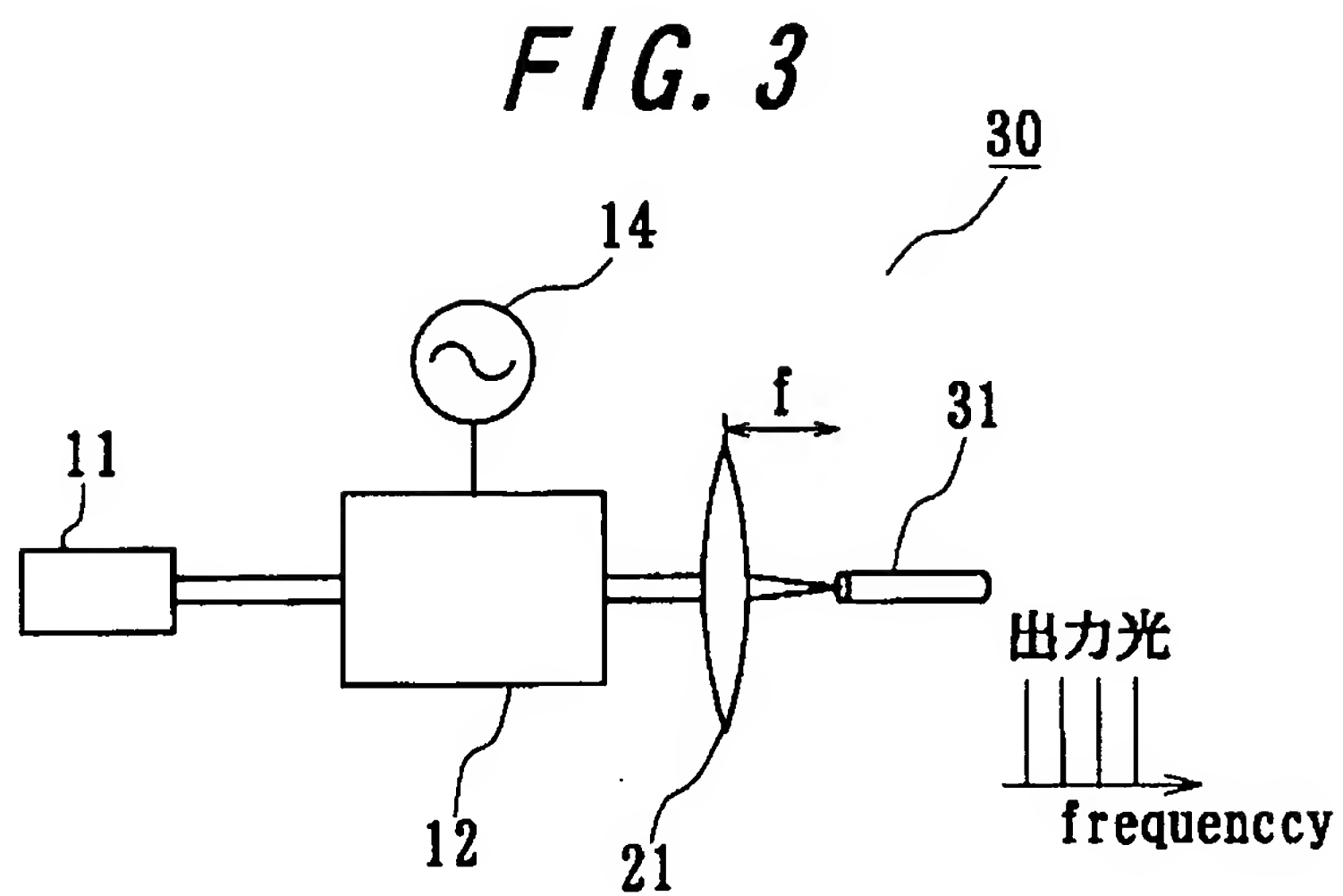
[図1]



[図2]



[図3]



[図4]

